

# 一种基于位平面分解的多分辨率数字水印算法

杨 军<sup>1</sup>, 余 堃<sup>2</sup>, 钟守铭<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学应用数学学院 成都 610054; 2. 电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)

**【摘要】**提出了一种基于位平面分解的多分辨率图像数字水印方法;利用多分辨率分解技术将相同分辨率层次的多分辨率数字水印嵌入到对应的相同分辨率层次的载体图像的小波系数中,使水印对原始图像具有自适应性。水印的嵌入位置由具有混沌特性的Arnold映射确定,在增加水印安全性的同时还解决了水印嵌入位置冲突的问题。由于在水印的嵌入过程采用了量化的方法,水印可实现盲提取。计算机仿真试验表明该算法具有良好的安全性、鲁棒性和可操作性。

**关键词** Arnold映射; 位平面分解; 数字水印; 离散小波变换

中图分类号 TP309

文献标识码 A

## An Image Digital Watermarking Algorithm Based on Bit-Plane-Decomposition and Multi-Resolution-Decomposition

YANG Jun<sup>1</sup>, SHE Kun<sup>2</sup>, ZHONG Shou-ming<sup>1</sup>

(1. School of Applied Mathematics, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;

2. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** Based on bit-decomposition technique and multiresolution-decomposition technique, a digital image watermarking algorithm is proposed in this paper. By multiresolution-decomposition technique, the decomposed watermarks of different resolution are embedded into the corresponding resolution of the decomposed original image, which makes the watermark be adapted to the original image. The chaotic Arnold map is utilized to generate the watermarking-embedding-position in order to enhance the security of watermarking. The watermarking can be extracted without the original image because the embedding procedure is based on the quantized method. Experimental results show that the proposed algorithm is robust to some image processing operations.

**Key words** Arnold map; bit-plane-decomposition; digital watermarking; discret wavelet transform

由于Internet技术的高速发展,多媒体数字产品的版权保护问题越来越引起关注,数字水印方法(Digital Watermarking)成为在数字产品的知识产权保护方面的研究热点。在知识产权保护领域中,数字水印方法必须具有较强的透明性(即在数字作品中嵌入的数字水印不会引起作品的明显降质,且不易被觉察)、隐藏位置的安全性(即水印信息隐藏于数据中)和鲁棒性(即在经历多种有意或无意的信号处理过程后,数字水印仍能被准确地识别)。

目前数字水印方法的研究主要是针对一维ID序列和二维二值数字水印的嵌入和提取,但这种水印所包含的信息量少、保密性差,在大量的数字图像的发布过程中尤为突出,必须用信息量大且保密性强的数字水印。其中灰度级数字水印图像所包含的

信息量、可感知性、可辨识性及保密性是传统一维ID序列和二维二值数字水印所无法比拟的,而信息量大的灰度水印嵌入到载体图像中会影响水印的不可见性。为了解决该问题,本文根据人的视觉的多分辨率特性提出一种基于位平面分解的多分辨率数字水印方法,用图像金字塔算法对原始水印图像进行多分辨率分解,用与人的视觉一样、具有多分辨率特性的多分辨小波对载体图像进行分解;再将分解得到的相同分辨率层次的多分辨灰度数字水印嵌入到对应的、相同分辨率层次的、载体图像的小波系数中,使水印对载体图像具有自适应性,进而使嵌入的水印具有良好的不可见性;再利用具有混沌特性的Arnold映射确定水印的嵌入位置,以增强字水印的保密性和避免出现嵌入位置冲突的问题。由于水

收稿日期:2005-11-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60473090)

作者简介:杨军(1981-),男,硕士生,主要从事数字水印方面的研究。

印的嵌入过程是基于量化的,水印可以实现盲提取。

### 1 水印图像的多分辨率分解和位平面分解

采用灰度级二维数字图像 $G_0$  ( $64 \times 64$ ) 作为数字水印,为了使嵌入的水印满足不可见性,水印信息应适应于原始图像。本文利用分辨率缩减方法<sup>[1]</sup>把水印 $G_0$ 分解为多分辨率金字塔式层次结构,分解后的三层灰度级图像分别为 $L_0$ (包含 $G_0$ 的高频息)、 $L_1$ (包含 $G_0$ 的中频信息)和 $G_2$ (包含 $G_0$ 的低频信息),如图1所示。

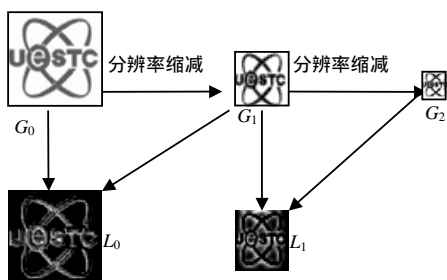


图1 图像水印的三层金字塔分解

水印 $G_0$ 可以由分解后的三层灰度级图像 $G_2$ 、 $L_1$ 、 $L_0$ 重建。由于灰度水印经过金字塔式分解后得到的多分辨图像 $L_0$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 仍然是灰度图像,可以对其进行位平面分解<sup>[2]</sup>。

### 2 原始图像的多分辨率分解

为了使嵌入的水印对有损压缩(如JPEG)具备较强的鲁棒性,在水印的嵌入过程中把原始图像通过二维离散小波变换(DWT)分解为三层多分辨率金字塔结构,如图2所示。

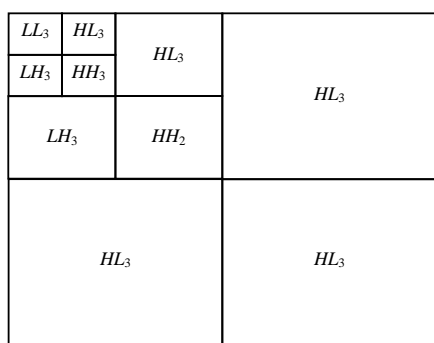


图2 基于小波变换的原始图像的三级多分辨率分解

低频子带 $LL_3$ 是原始图像的3级逼近子图,集中了原 $HL_2$ 始图像的绝大多数能量;中频子带 $HL_k$ 、 $LH_k$  ( $k \in 1, 2, 3$ ) 分别是原始图像在水平和垂直方向的细节;高频子带 $HH_k$  ( $k \in 1, 2, 3$ ) 是原始图像在对角方向的细节。

## 3 灰度级数字水印的嵌入和提取方法

### 3.1 水印信号嵌入子带位置的确定

#### 3.1.1 嵌入频带的选择

嵌入的水印应满足既不破坏原始图像的质量,又能在图像处理过程中(尤其是JPEG的有损压缩过程)有效地生存,水印信息应嵌入到图像的中频子带中<sup>[3]</sup>。若将多分辨水印 $G_2$ 、 $L_1$ 、 $L_0$ 各自的八个位平面图的高4位(低4位)位平面分别嵌入到子带 $LH_3$ 、 $LH_2$ 、 $LH_1$ ( $HL_3$ 、 $HL_2$ 、 $HL_1$ )中,如图3所示。

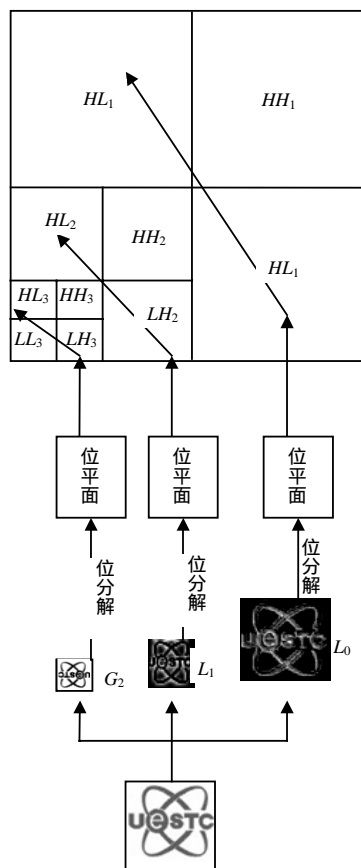


图3 基于多分辨率分解的灰度级水印嵌入过程

#### 3.1.2 确定水印嵌入小波系数的位置

用广义Arnold映射确定水印嵌入小波系数的位置,广义Arnold映射 $\sigma$ 的定义如下:

$$\sigma : \{0, 1, \dots, N-1\} \rightarrow \{0, 1, \dots, N-1\}$$

$$\begin{pmatrix} x_{k+1} \\ y_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (1)$$

式中  $A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ ;  $a, b, c, d \in \mathbb{Z}^+$ , 且满足  $|A| = ab - cd = 1$  (保面积条件)。在此约束条件下参数 $a, b, c, d$ 中只有三个是独立的,如可以让 $a, b, c$ 独立,而由保面积条件决定; $N$ 为图像的尺寸。广义的Arnold

映射式(1)具有混沌映射的特性,由于混沌映射具有很强的类随机性和对初始条件的极端敏感性,混沌系统具有良好的密码特性。因此可以利用广义Arnold映射式(1)来产生水印各像素点嵌入到载体图像的空间位置,将水印图像的各像素坐标 $(m,n)$ 作为初值,用系数矩阵 $A$ 的三个独立参数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 和迭代次数 $K$ 作密钥,生成的迭代结果 $(m',n')$ 作为 $(m,n)$ 坐标处水印嵌入到载体图像的空间位置。由于映射的混沌特性,当迭代次数 $K$ 足够大时,任意两个相邻的水印像素点嵌入到载体图像的位置会产生很大的分离;又由于该映射是一一映射,因此由不同的水印坐标迭代得到的嵌入位置不会相同,就可保证嵌入水印位置不会产生冲突<sup>[4]</sup>。

### 3.2 小波系数的量化和水印信号的嵌入

#### 3.2.1 确定水印嵌入小波系数的位置

本文先对小波系数 $LH_3$ 进行讨论,设其为 $f(m,n)$  ( $0 \leq m,n < 64$ ),其量化函数为<sup>[5]</sup>:

$$Q[f(m,n)] = \begin{cases} 0 & r\Delta & f(m,n) < (r+1)\Delta & r=0, \pm 2, \pm 4, \dots \\ 1 & r\Delta & f(m,n) < (r+1)\Delta & r=\pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots \end{cases} \quad (2)$$

式中 $\Delta$ 为量化因子(一般情况下 $\Delta$ 的取值可以根据图像的实际情况来定),这样每一个系数 $f(m,n)$ 就与 $Q[f(m,n)]$ 之间建立一一对应关系。

#### 3.2.2 水印信号的嵌入

为了水印嵌入叙述的方便,本文将多分辨率水印 $G_2$ 位分解得到的八个位平面的低4位位平面记 $\{W^0, W^1, W^2, W^3\}$ ,并形成一矩阵,即:

$$W = \begin{pmatrix} W^0 & W^1 \\ W^2 & W^3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中 $W$ 中的元素记为 $W(m,n)$ ,  $0 \leq m,n < 32$ 。选定独立参数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 和迭代次数 $K$ 作为密钥,并取迭代初值为 $x_0 = m, y_0 = n$ ,则式(1)就可以作为嵌入点行地址和列地址的产生器,迭代得到的结果即为水印的嵌入位置 $(m',n')$ 。

将 $Q[f(m',n')]$ 和式(3)的 $W(m,n)$ 进行比较会出现两种情况,针对这两种情况,相应地可以对小波系数作如下处理:

- (1) 如果 $Q[f(m',n')] = W(m,n)$ ,则小波系数 $f(m',n')$ 不改变;
- (2) 如果 $Q[f(m',n')] \neq W(m,n)$ ,将小波系数 $f(m',n')$ 进行修正为:

$$f(m',n') = \begin{cases} \left[ \frac{f(m',n')}{\Delta} \right] \Delta + (2-\lambda)\Delta & \text{if } \frac{\Delta}{2} \\ f(m',n') - \left[ \frac{f(m',n')}{\Delta} \right] \Delta & \Delta < \Delta \\ \left[ \frac{f(m',n')}{\Delta} \right] \Delta - (1-\lambda)\Delta & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

式中参数 $\lambda = 0.618$ (黄金分割点),这样作了修正后的小波系数可保证 $Q[f(m',n')] = W(m,n)$ 。同理可以将 $G_2$ 的高4位位平面 $\{W^4, W^5, W^6, W^7\}$ 嵌入到小波系数 $HL_3$ 中,将 $L_1(L_0)$ 的低4位位平面嵌入到小波系数 $LH_2(LH_1)$ 中,将 $L_1(L_0)$ 的高4位位平面嵌入到小波系数 $HL_2(HL_1)$ 中。

### 3.3 水印信号的提取

(1) 对待检测图像进行 $L$ 级小波变换,得到各级小波分解系数,如图2所示。记 $LH_3$ 的系数为 $f(m,n)$   $0 \leq m,n < 64$ 。

(2) 记 $LH_3$ 中提取出的水印像素为 $W(m,n)$ ,  $0 \leq m,n < 32$ 。同嵌入时的讨论一样,利用密钥参数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $K$ 和式(1)可确定 $(m,n)$ 坐标处的水印像素嵌入的小波系数位置 $(m',n')$ 。

(3) 利用式(2)对 $f(m',n')$ 进行量化,从而提取到水印像素 $W(m,n)$ ,  $0 \leq m,n < 32$ 。

(4) 将得到的矩阵 $W$ 按式(3)中的结构分块,可得到 $G_2$ 的低4位位平面 $\{W^0, W^1, W^2, W^3\}$ 。同理从 $HL_3$ 中可提取出 $G_2$ 高4位位平面 $\{W^4, W^5, W^6, W^7\}$ 。

(5) 由此八个位平面重构出水印 $G_2$ ,同理在待检测图像的小波系数 $LH_2$ 、 $HL_2(LH_1)$ 、 $HL_1$ 中可以得到 $L_1(L_0)$ 。

(6) 对 $G_2$ 、 $L_1$ 、 $L_0$ 采用金字塔分解的逆过程即可重构出提取的水印 $W$ 。

## 4 仿真实验结果

仿真试验采用的原始图像是 $512 \times 512$ 的256灰度级lena.bmp图像,水印采用的是 $64 \times 64$ 的256灰度级uestc.bmp图像。密钥取 $a=1$ 、 $b=1$ 、 $c=1$ 、 $K=100$ ,量化步长取 $\Delta=15$ 。由于采用的水印在感知上是可视的,所以提取的水印信息很容易辨别。为了定量分析提取水印与原水印的相似性,可以采用归一化互相关系数来表征,同时采用峰值信噪比来评价原始图像和加水印后图像之间的差别。实验得到的结果如图4所示。

(下转第572页)

的计算上运行时,测得系统生成动画的速度为25帧/s左右,完全可以达到实时的要求。多次试验表明,本文提出的方法能真实、实时地实现三维人脸动画。

## 4 结束语

本文提出了一种新的基于MPEG-4的三维人脸动画实现方法,该方法能够在FAP帧的驱动下,实现具有相当真实感的三维人脸动画,适宜于任意拓扑结构的3D人脸模型。它的不足之处在于实现动画的过程中,需要一定的用户交互。如何减少或取消用户的交互需要作进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] PARKE F I. Computer generated animation of faces[J]. ACM National Conf, 1972, 451(3): 457-468.  
 [2] EROL F, GUDUKBAY U. An interactive facial animation system[C]// Proc International Conf. In Central Europe on Computer Graphics. [S. l.]: [s. n.], 2001.

- [3] PARKE F I, WATERS K. Computer facial animation. wellele[M]. MA: AKPeters, 1996.  
 [4] 金小刚, 鲍虎军, 彭群生. 计算机动画技术综述[J]. 软件学报, 1997, 8(4): 241-251.  
 [5] CHOE B. Performance driven muscle based facial animation[J]. The Journal of Visualization and Computer Animation, 2001, 12(2): 67-79.  
 [6] EZZAT T. A talking facial display based on morphin visemes[J]. Computer Animation, 1998, 96(5): 102-110.  
 [7] 姜大龙, 王兆其, 高文. 基于MPEG-4的三维人脸动画实现方法[C]//第一届全国虚拟现实与可视化学术会议CCVRV'01. 北京: [出版者不详], 2001.  
 [8] Moving Picture Experts Group. Mpeg4[EB/OL]. <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/mpeg4/mpeg4.htm>, 2005-01-05  
 [9] Codage. ISO/IEC 14496-2. Information technology--coding of audio-visual objects-- Part 2: Visual technologies del'information[S]. Second edition. 2001.

编辑 漆蓉

(上接第565页)

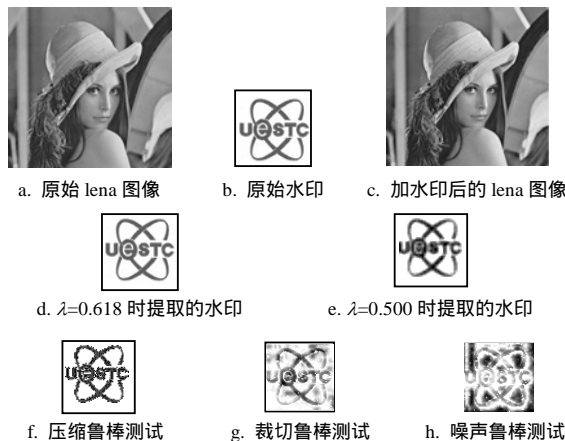


图4 仿真结果

鲁棒性测试结果如表1所示。

表1 对算法鲁棒性测试结果( $\lambda=0.618$ )

处理方式	提取的水印	NC系数
JPEG压缩比30	图4f	0.856
裁切25%	图4g	0.845
均匀噪声	图4h	0.732

## 5 结束语

本文提出的算法采用较少的参数就能实现水印的盲提取,且具有良好的自适应性和安全性、较强的抗剪切能力和抗JPEG压缩能力;小波系数量化到了分割区间的黄金分割点,比量化到中点有较好的PSRN值;灰度级水印在感知上是可视的,所以提取的水印信息很容易辨别。

### 参考文献

- [1] BURT P J, ADEISON E H. The laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Trans. on Commun., 1983, 31(4): 532-540.  
 [2] LIU X M, LU Z M, SUN S H. Digital watermarking of still images with gray-level digital watermarks[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2000, 46(1): 137-145.  
 [3] 牛夏牧, 陆哲明, 孙圣和. 基于多分辨率分解的数字水印方法[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 1-4.  
 [4] 朱从旭, 陈志刚. 一种基于混沌映射的空域数字水印新算法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2005, 36(2): 272-276.  
 [5] 杨树国, 李春霞, 孙尧, 等. 基于位平面分解的图像数字水印方法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 18: 111-113.

编辑 黄莘